tía en un proceso mecánico, van Helmont se negaba a separar el alma de la materia. De modo que la materia se espiritualizó y la naturaleza se volvió panteísta. Esta espiritualización de la materia resultó especialmente atractiva a ciertos grupos religiosos durante la revolución puritana en Inglaterra. Las obras de Paracelso y van Helmont circularon por doquier durante las décadas de 1650 y 1660, en parte porque podían utilizarse como armas en las luchas por el poder entre médicos y farmacéuticos, pero también porque la religión se encontraba en permanente estado de cambio. Los aspectos neoplatónicos, vitalistas, no mecánicos y casi antirracionales, tanto de la doctrina de Paracelso como de la de van Helmont, encontraron gran aceptación porque enfatizaban la importancia de la iluminación personal frente a la pura razón. A la mentalidad puritana esto le atrajo especialmente, ya que podía justificar la revolución religiosa y política en nombre de los ideales personales.

Pero junto a esta ideología se encontraba la ciencia «positiva» de van Helmont: gases, cuantificaciones y medidas, y la iatroquímica. Una vez establecida la Commonwealth, el concepto de iluminación personal tuvo que minimizarse, como había previsto Libavio, para evitar la anarquía. Así pues, en la década de 1660 se atacó la doctrina de van Helmont y sus seguidores. Mientras que en la década de 1640 algunas personas intentaron la reforma de las universidades de Oxford y Cambridge siguiendo las directrices de Paracelso y van Helmont, hacia mediados de la década de 1660 esto ya estaba fuera de lugar y la nueva Royal Society defendió con gran éxito la filosofía mecanicista de Descartes, Boyle y Newton. No obstante, en las obras de los dos últimos quedaron reminiscencias del pensamiento de van Helmont.

La teoría ácido-alcalina

Esta teoría dualista, basada en la antigua idea de la guerra entre opuestos de Empédocles, también procede directamente del trabajo de van Helmont. Éste había explicado la digestión químicamente, como un proceso de fermentación donde intervenía un ácido controlado por lo que Paracelso llamó *archeus* o alquimista interno. Al mismo tiempo demostró que el cuerpo humano segregaba materias alcalinas como la bilis. Uno de sus discípulos, Francisco Silvio (1614-1672), profesor de medicina en la Universidad de Leiden desde 1658 hasta su muerte y uno de los principales exponentes de la iatroquímica, hizo extensiva la teoría de la digestión de van Helmont a la fermentación de los alimentos, la saliva, la bilis y los jugos pancreáticos. Para Silvio, se trataba de un proceso químico «natural» donde no intervenía ningún archeus o mecanismo de transformación sobrenatural o astral. Los fisiólogos acababan de descubrir los jugos pancreáticos que, al gusto, eran ácidos como la saliva; sin embargo, la bilis era

alcalina. Se sabía que se producía efervescencia cuando una sustancia ácida reaccionaba con una alcalina, como cuando se vertía vinagre sobre un trozo de creta, y así, Silvio pensó que la digestión era una contienda entre sustancias ácidas y alcalinas seguida de una neutralización.

Silvio no dudó en extender este concepto de la neutralización entre dos sustancias químicas opuestas a otros procesos fisiológicos. Por ejemplo, atribuyó a la efervescencia el calor vital de los animales ya que, según él, la sangre contiene una sal de bilis oleosa y volátil (álcali) que reacciona en el corazón con la sangre, la cual contiene los espíritus vitales ácidos. A partir de este estado normal del metabolismo podían explicarse todos los síntomas patológicos. Todas las enfermedades se podían reducir a un exceso de acidez o de alcalinidad, teoría que no tardaron en explotar comercialmente boticarios y farmacéuticos; hoy nos resulta familiar, pues la publicidad sigue haciendo uso de ella.

La teoría de Silvio fue popularizada por un discípulo suyo italiano, Otto Tachenio (1620-1690), a través de su obra *Hippocrates Chemicus* (1666), cuyo título hacía alusión explícita a su planteamiento iatroquímico. En sus teorías químicas de la fisiología humana yacía una visión crítica, debido a la gran necesidad que había, en la década de 1660, de una teoría unificadora de la clasificación y explicación químicas que reemplazara las hipótesis ya marchitas de los cuatro elementos y los tres principios. Tachenio urgía a médicos y químicos a que adoptaran la teoría de los dos elementos, consistente en que las propiedades y comportamiento de las sustancias radicaban en su acidez o alcalinidad.

El problema fundamental de la propuesta de Tachenio era que no aportaba una definición satisfactoria ni de ácido ni de álcali, salvo afirmar que un ácido experimentaba una reacción de efervescencia con un álcali y viceversa, o sea, la pescadilla que se muerde la cola.

Un químico escéptico

Robert Boyle (1627-1691), nacido en Irlanda y séptimo hijo del conde de Cork, estudió en Eton y, más tarde, tras un largo viaje por la Europa continental, regresó a Inglaterra en 1644. En la década de 1650 entró en contacto con Samuel Hartlib y su círculo de amistades, quienes en ocasiones se autodenominaban el «Colegio Invisible» y estaban interesados en los trabajos químicos, tanto por su utilidad material en la medicina y el comercio, como para así comprender mejor a Dios y a la Naturaleza. Entre sus miembros se encontraba el alquimista norteamericano George Starkey, por lo que no es de extrañar que Boyle comenzara a leer profusamente literatura alquímica. Entre 1655 y 1659, y desde 1664 a 1668, Boyle vivió en Oxford, donde se unió al grupo de sobresalientes filósofos naturales que fundaron la Royal Society en 1661. Boyle fue

un hombre extraordinariamente devoto que, como hizo Newton en la siguiente generación, escribió tanto sobre teología como sobre filosofía natural. Financió traducciones de la Biblia al malayo, turco, galés e irlandés, y donó una parte de su legado para que todos los años se predicara una serie de sermones en la catedral de San Pablo; con esto pretendía reconciliar la ciencia y la religión, y demostrar cómo aquélla apoyaba a ésta.

La generación anterior a Boyle había vivido un renacimiento de la teoría atomista de la materia. A lo largo de la Edad Media, como demuestra la obra de Geber *Summa perfectionis*, los filósofos naturales se habían familiarizado con la doctrina de Aristóteles de los *minima naturalis* que, a todos los efectos, consideraban como la «mínima partícula química». En 1473 se había redescubierto e impreso el poema de Lucrecio *De rerum natura*. Un siglo más tarde, en 1575, se publicó la *Pneumática* de Herón y se extendió una teoría atomista alternativa no epicúrea, donde las propiedades de la materia bruta se explicaban por la presencia de pequeños vacíos intercalados entre las partículas de un cuerpo. Esta teoría, que permitía explicar el calor en términos de agitación de partículas, fue explotada, entre otros, por Galileo, Bacon y van Helmont en su búsqueda de una alternativa al aristotelismo. Un siglo más tarde, en 1660, el filósofo francés Pierre Gassendi (1592-1655) defendió que la filosofía epicúrea de los átomos reemplazara a la de Aristóteles. Su obra *Philosophiae epicuri syntagma* era un compendio incoherente del atomismo, pero su defensa de la existencia del vacío proporcionó una alternativa a la teoría plenista y particularista de Descartes. Los tres grados de materia de Descartes, es decir la materia terrestre en general, una materia más sutil o celeste, que llenaba los intersticios de la terrestre, y unas partículas aún más sutiles, que llenaban los últimos espacios, recuerdan notablemente los elementos tierra, aire y fuego y dejan a un lado los principios de Paracelso: sal, mercurio y azufre. Para los estudiosos de la materia, está claro que Boyle debe mucho a Gassendi y a su discípulo inglés Walter Charleton, cuya obra *Epicuro Gassendo Charletoniana* (1654) no sólo presentaba una filosofía mecanicista coherente en términos de átomos o corpúsculos, sino que, además, la situaba en un contexto cristiano aceptable.

En 1661 Boyle publicó *The Sceptical Chymist*, donde criticaba la química peripatética de Aristóteles, la espagírica de Paracelso y van Helmont así como la teoría de la sustanciación de las propiedades físicas y químicas en formas y cualidades sustantivas preexistentes. Aunque la obra está escrita en forma de diálogo entre cuatro interlocutores (Carneades, el escéptico; Themistio, seguidor de Aristóteles; Philopón, de Paracelso, y Eleutherio, neutral), el estilo de Boyle, repleto de digresiones y divagaciones, hace que al lector actual le resulte difícil seguir el argumento. Gran parte del tratado se convierte en un monólogo del personaje portavoz de Boyle, Carneades. Afortunadamente, existe un manuscrito anterior, *Reflexions on the Experiments vulgarly alledged to evince the four Peripatetique Elements or the three Chymical Principles of Mixt Bodies*, que es una versión más directa, menos literaria y más convincente de *The Sceptical Chymist*. Salvo una o dos referencias a esta obra, seguiremos el argumento de este manuscrito, de cuyo texto se infiere que fue escrito en 1658.

La defensa clásica de la teoría de los cuatro elementos consistía en citar el fenómeno familiar de la combustión de la madera [1]:

> El experimento al que se suele recurrir para defender la extendida opinión de los cuatro elementos consiste en que, cuando se quema una vara verde en una hoguera, primero se desprende un humo, que se dice que es AIRE; después, bulle hacia afuera, en los extremos, un cierto líquido que se supone que es AGUA; el FUEGO se disuelve en su propia luz, y la parte incombustible que queda al final no es otra cosa que el elemento TIERRA.

Boyle, siguiendo a van Helmont, expuso ciertas objeciones a esta interpretación. En primer lugar, aunque de la madera se podían extraer cuatro productos «elementales», de otras sustancias era posible obtener un número mayor o menor:

> No es posible extraer cuatro elementos de algunos cuerpos, como el oro, del que, hasta la fecha, no se ha extraído *ni uno solo* de ellos. Lo mismo se puede decir de la plata y otros cuerpos fijos, pues reducirlos a cuatro sustancias heterogéneas ha sido hasta ahora tarea demasiado ardua para Vulcano. Hay, en cambio, otros cuerpos que pueden reducirse a *más* [de cuatro elementos], como la sangre de los hombres y de otros animales que, al ser analizada, produce flema, espíritu, aceite, sal y tierra.

Aquí parece que Boyle tropezó con la distinción entre sustancias minerales y orgánicas pero, en lugar de desarrollar este punto, criticó el supuesto de que los cuatro productos que se obtenían de la madera fueran realmente *elementos*. Una manipulación química más avanzada sugería, en efecto, que estos productos eran complejos.

> Con respecto a la vara verde, el fuego no la separa en elementos, sino en cuerpos mixtos ocultos bajo otras formas: la *llama* parece ser la parte sulfurosa del cuerpo encendido; el *agua* que bulle hacia el exterior en los extremos está muy lejos de ser simplemente agua, ya que contiene una gran parte de sal y de las propiedades de la vara, de ahí que los médicos utilicen el jugo de diversas plantas, tras haber sido sometidas a ebullición, como remedio para diferentes tipos de indisposiciones, mientras que el agua sin más resulta para estos fines totalmente ineficaz. El *humo* está muy lejos de ser *aire*, ya que no cabe ningún género de duda acerca de su naturaleza de cuerpo mixto, que al ser destilado proporciona un aceite, el cual deja tras de sí

[1] Marie Boas, «An Early Version of the *Sceptical Chymist*», *Isis*, 45 (1954): 153-68.

> una tierra; que abunda en sal es algo que se desprende de su capacidad para fertilizar la tierra y por su amargor, y también porque hace llorar a los ojos, lo cual no sucede con el humo del agua común, e indiscutiblemente, por la sal pura que se puede extraer con facilidad, de la que recientemente he obtenido una muestra de blancura, volatilidad y viveza insuperables.

Esta exposición crítica muestra claramente la meticulosidad con que Boyle había estudiado los productos resultantes de la destilación destructiva de la madera, experimento que en el siglo XX ha sido, frecuentemente, una de las lecciones introductorias de los planes de estudio de química en la enseñanza media en Gran Bretaña.

Finalmente, Boyle orientó su agudo sentido crítico hacia el método en sí del análisis por el fuego. Se preguntó por qué los productos resultantes del análisis eran diferentes si se alteraban ligeramente las condiciones del análisis mediante el fuego o si se utilizaba otro método de análisis. Así, si se quemaba un leño de guayaco sobre una parrilla, se obtenían cenizas y hollín, pero si se destilaba en una retorta, los productos resultantes eran «aceite, espíritu, vinagre, agua y carbón vegetal». Y, mientras que el *aqua fortis* (ácido nítrico concentrado) separaba la plata y el oro mediante la disolución de la primera, el fuego, por el contrario, fundía los dos metales. Más aún, el grado de fuego (la temperatura) podía hacer que los resultados del análisis variaran enormemente:

> El plomo sometido a un grado de fuego se convierte en minio [óxido de plomo], y sometido a otro se vitrifica, y en ninguno de ambos casos sufre separación alguna de sus elementos. Y si para un aristotélico es de ley hacer pasar las cenizas (las cuales confunde con una tierra) por un elemento, entonces, basándose en el mismo principio, ¿por qué un químico no puede argumentar que el vidrio es uno de los elementos constitutivos de muchos cuerpos, ya que con tan solo un grado mayor de fuego pueden vitrificarse sus cenizas?

Así, Boyle concluyó que el análisis mediante el fuego era totalmente inadecuado para demostrar que todas las sustancias están compuestas por el mismo número de elementos, lo cual, en definitiva, era como afirmar que «todas las palabras se componen de las mismas letras». Boyle no fue el único que criticó la teoría de los elementos de Aristóteles. En efecto, hay abundantes pruebas de que, además de sus propios experimentos, el conjunto principal de sus críticas las extrajo de las obras de Gassendi, quien había establecido los mismos puntos al dar nueva vida a la filosofía atomista de Epicuro y Lucrecio.

Llegados a este punto, resulta evidente por qué Boyle discrepaba de los tres principios de Paracelso. De manera tácita en el manuscrito de las «Reflexiones», y explícita en *The Sceptical Chymist*, se aceptaba una filosofía corpuscularista. El argumento de Boyle consistía en que, aun en el caso de que hubiera tres principios o elementos dentro de una materia, eso no significaba necesariamente que fuera posible efectuar un análisis o división en esas tres partes, o que éstas fueran las partes últimas. Por extraño que parezca, los químicos orgánicos del siglo XIX se enfrentaron exactamente al mismo problema: ¿qué garantía existe de que los productos de una reacción aporten información acerca de la sustancia original?

> No hay que descartar por completo que, en caso de separar los tres principios de un cuerpo, éstos no fuesen preexistentes a él, pues quizá, cuando el fuego separa las diferentes partes del cuerpo, los átomos ígneos se asocian de diversas maneras con las partículas separadas del cuerpo disuelto, o incluso puede que se produzcan diversas combinaciones de los principios liberados de dicho cuerpo entre sí, y de esta unión, o al menos cohesión, resulten cuerpos mixtos de un nuevo tipo.

Como descubrió Laurent en la década de 1830, este escepticismo es digno de tenerse en cuenta pero, si se toma al pie de la letra, negaría el uso de las reacciones para demostrar la composición de los cuerpos.

Acerca de los principios de Paracelso, Boyle concluyó que, hasta que alguien consiguiese analizar el oro y otras sustancias similares en tres partes coherentes, «no voy a negarlo absolutamente [la posibilidad de los tres principios]... pero me abstendré de opinar hasta que, o bien la experiencia o bien un testimonio competente, me convenzan de ello».

Pero Boyle todavía guardaba una carta en la manga. Utilizó la teoría de van Helmont, que propugnaba un solo elemento frente a las teorías de los tres y de los cuatro elementos. Parece ser que al principio albergaba serias dudas respecto a la hipótesis del agua de van Helmont pero, tras realizar sus propios experimentos, tuvo que admitir que ésta parecía plausible. Tanto en las «Reflexiones» como en *The Sceptical Chymist*, la obra de van Helmont aparece tratada bajo un prisma favorable. Por ejemplo, casi la tercera parte de las «Reflexiones» está dedicada a su discusión. Parte de los experimentos de Boyle parece apoyar la teoría del agua, aunque no se pronunció acerca de la cuestión de si ésta era o no realmente un elemento. En *The Sceptical Chymist* afirmó que, probablemente, el agua consistía en una aglomeración de partículas.

Los experimentos de Boyle eran muy similares a los de van Helmont:

> No sin cierto asombro, me ha maravillado el análisis de los cuerpos, la gran proporción de agua que entra a formar parte de varios de ellos, cuya apariencia no prometía gran cosa. Algunas maderas duras y recias desprenden más cantidad de agua que de todo el resto de los elementos. En la destilación de anguilas, aunque se ha obtenido algo de aceite, espíritu y sal volátil, además de *caput mortuum* *, estas cantida-

* Residuo de la destilación, formado por cenizas, masas pastosas etc., que queda tras evaporarse el agua y los otros posibles líquidos *(N. del T.)*.

> des eran tan desproporcionadas con relación al agua desprendida... que se diría qu los animales no eran otra cosa sino flema coagulada.

La ingeniosa variación que Boyle introdujo en el experimento del sauce, des pués de verificarlo con una semilla de calabaza que dejó crecer en un tiesto du rante cinco meses, consistió en hacer la prueba con una planta de menta, per sólo en agua, pues razonó que si la planta tomaba toda su sustancia del agua, l presencia de la tierra donde plantar la semilla o el esqueje era irrelevante.

La teoría de van Helmont, fundamentada en una extensa base experimen tal, parecía a primera vista muy atractiva, pero Boyle no pudo encontrar nin guna prueba del crecimiento de metales o minerales a partir de agua, ni logr comprobación alguna de que los perfumes y néctares de las plantas provinieran del agua sola. No había ninguna prueba de la existencia de un *alcahesto* y, e cualquier caso, la filosofía mecanicista no veía diferencia física última entre u disolvente y una sustancia disuelta. Aunque los experimentos de van Helmon fustigaron las teorías de los elementos de Aristóteles y Paracelso, Boyle no fu partidario de su interpretación alternativa.

Por otra parte, la teoría de van Helmont apelaba a la interpretación litera de la Biblia de Boyle, pues el mundo, según el Génesis y la mitología hebrea surgió «por obra del Espíritu de Dios... que actuó como las hembras que em pollan sus huevos... sobre la superficie del agua». Este agua original no pud ser el elemento agua, sino que debió consistir en «una gran variedad de princi pios seminales y embriones, y de otros corpúsculos adecuados para ser someti dos y moldeados por ellos». Luego era posible que el agua común hubiera rete nido parte de ese poder creador original.

La postura de Boyle en todo este asunto de la demostración de la existenci de los elementos consistió en mantener una actitud abierta y escéptica:

> La manera más segura de proceder es averiguar, a partir de experimentos concretos de qué partes heterogéneas se compone cada cuerpo en particular y cuál es la mane ra más adecuada de separar sus partes, ya sea a través del fuego real o potencial, si tener que bregar inútilmente forzando a los cuerpos a separarse en más elemento de los que les asignó la naturaleza, o despojar los principios ya separados de mod que queden tan desnudos que al convertirlos en sustancias exquisitamente simple sean laboriosamente inútiles.

La ironía que encierra este comentario final consiste en que a pesar de su adhe sión a la filosofía corpuscularista, Boyle formuló el concepto de elemento «la boriosamente inútil». Antes de proseguir con este punto, veamos cómo sembr Boyle la semilla del escepticismo en la teoría ácido-alcalina.

Boyle no discutió esta teoría ni en *The Sceptical Chymist* ni en su borrado manuscrito. En cambio, Boyle criticó en 1675 las teorías de Silvio y Tacheni

en su obra *Reflexions upon the hypothesis of alcali and acidium*. Diez años antes, en *Experimental History of colours* (véase Capítulo 5), Boyle había realizado una importante contribución a la química basada en las reacciones entre ácidos y bases con el desarrollo de los indicadores. Descubrió una sustancia vegetal azul, el jugo concentrado de las violetas, que se volvía roja con los ácidos y ver de con los álcalis. Esta prueba podía aplicarse a todos los ácidos conocidos y utilizarse con confianza para formular una definición operacional de los áci dos, a saber, que un ácido era una sustancia que volvía rojo el jugo concentra do de violetas. La prueba era también cuantitativa, de una manera tosca pero eficaz, ya que se podían determinar los puntos neutros.

Cuando Boyle consideró en 1675 la teoría de Silvio-Tachenio, objetó la vague dad de los términos «ácido» y «alcalino» tal y como se utilizaban en ella, y señaló que la efervescencia no era una prueba adecuada para comprobar la acidez, ya que también lo era para comprobar la alcalinidad; igualmente planteaba dificultades con los metales, pues éstos entraban en efervescencia cuando se les añadían áci dos. ¿Acaso los metales eran álcalis? Cuando el zinc reaccionaba con el álcali co nocido como sosa (carbonato sódico), se disolvía. Luego, ¿era el zinc un ácido?

Si bien en *The Sceptical Chymist* Boyle sólo había adoptado una actitud crí tica sin ofrecer ninguna propuesta concreta que reemplazara las teorías de Aris tóteles y Paracelso, en el caso de sus críticas a la teoría ácido-alcalina aportó una clasificación alternativa y experimental de las soluciones ácidas, alcalinas y neutras, que fue de utilidad en el análisis químico. Partiendo de esta labor ex perimental, químicos posteriores pudieron desarrollar la teoría de las sales, que resultó uno de los puntos de partida para la revisión de la teoría de la composi ción química llevada a cabo por Lavoisier en el siglo XVIII.

Boyle discrepaba también de la teoría ácido-alcalina en otro punto. Ese vago planteamiento metafórico de «contienda» entre soluciones ácidas y alcali nas poseía decididamente un viso no mecanicista o incluso antimecanicista. Para un filósofo corpuscularista como Boyle, se trataba de una teoría oscura, en el sentido del siglo XVII de recurrir a explicaciones que no podían reducirse a los principios mecánicos y geométricos de tamaño, forma y movimiento con que Dios había dotado en un principio a las propiedades químicas. Aun así, no está claro que Boyle suscribiera plenamente la reducción de las propiedades químicas a cualidades geométricas, como hicieron los filósofos de principios del siglo XVIII. A lo más que llegó fue a argumentar que estas propiedades quí micas dependían de la manera en que estuvieran dispuestas las partículas que componían un cuerpo para reaccionar con las de los otros. Lo que sí está claro es que Boyle era muy consciente de que, al abolir las causas formales de Aristó teles, se perdía la explicación de la distinción entre especies químicas.

La solución de Gassendi, compartida por Boyle, consistió en introducir la idea de «virtudes seminales» o semillas, «que unen a los corpúsculos entre sí [...]

hasta formar pequeñas masas [a las que] dan forma uniformemente». Los experimentos que Boyle realizó con formas cristalinas variables, producidas haciendo reaccionar un ácido con diferentes metales, le llevaron a la conclusión de que cada ácido, cada álcali y cada metal tenían su propia forma específica interna o virtud, la cual se podía modificar en presencia de otras. En este punto, Boyle encontró un aliado en el antiguo concepto medieval de los *minima* y de la *mixtion* que, a diferencia del atomismo físico, intentaban explicar la combinación mediante algo más que la mera cohesión física. Como ya se ha dicho, otra vía, representada por Descartes, consistía en explicar la forma geométricamente, dotando de significado químico a las *formas* de las partículas físicas últimas. Con Descartes, los tres elementos pasaron a ser tres formas: irregular, masiva y sólida, y larga y delgada. Aparte de la evidente analogía con el azufre, la sal y el mercurio de Paracelso, Norma Emerton ha observado también el paralelismo con el método holandés de drenaje del suelo en esa época, en el que un emparrillado de palos entrecruzados con ramas se cubría con piedras para formar una terra firma. Por consiguiente, para Descartes la causa de la composición (mixtión) y de la nueva forma era una simple maraña.

La teoría física de la materia de Boyle

Habitualmente, los historiadores de la química han menospreciado a Boyle y le han considerado tan sólo un crítico, pero esta no es, desde luego, la tónica general del conjunto de su obra. Fue un autor sumamente prolijo, que divagaba mucho y, para los cánones de hoy, un autor carente de método que publicó unos 42 volúmenes. En sus actividades científicas Boyle adoptó el método baconiano, lo cual quedó reflejado en su forma de escribir, aparentemente aleatoria, que le impidió contar con tiempo suficiente para redactar un tratado global de química. Sabemos que entregaba sus manuscritos al impresor de manera fragmentaria, siempre con retraso y repletos de añadidos y «experimentos trasapelados» de anteriores proyectos de investigación. No es de extrañar, pues, que Peter Shaw, quien editó sus obras en el siglo XVIII, creyera oportuno disculparse ante los lectores por la falta de sistema en sus escritos:

> La intención de Boyle no fue nunca escribir un corpus de filosofía, sino tan sólo dedicar ensayos ocasionales a aquellos temas a los que le condujo su ingenio o inclinación; por ello no se puede pretender, ni siquiera con su más exquisita disposición, reducirlos a un sistema metódico y uniforme, a pesar de que proporcionan abundante material para ello.

A pesar de la actitud defensiva de Shaw, las «divagaciones» de Boyle sí seguían, de hecho, un sistema. En otra ocasión el propio Shaw lo mencionó al

referirse a Boyle como «el introductor o, al menos, el gran restaurador de la filosofía mecanicista entre nosotros». Esta reivindicación de Boyle como restaurador de la filosofía mecanicista ya había sido expuesta por Richard Bentley por primera vez varios años antes, en una de las conferencias o discursos que se pronuncian periódicamente y que llevan el nombre de Boyle en su honor:

> La filosofía mecanicista o corpuscular, aun siendo, quizá, la más antigua del mundo, así como la mejor, ha estado durante siglos relegada al desdén y al olvido, hasta que, por fin, ilustres sabios de nuestra época la han restaurado y cultivado de nuevo. Pero, principalmente, debe su restablecimiento y lustre a Boyle, de glorioso recuerdo, quien no sólo demostró su valía en fisiología (es decir, física), por encima de las vulgares doctrinas acerca de cualidades reales y formas sustanciales, sino que, además, prestó un enorme servicio a la propia religión.

Hacia mediados del siglo XVII ya no existían dificultades conceptuales para aceptar la existencia de partículas diminutas, ya fueran átomos o corpúsculos (estos últimos eran menos controvertidos), los cuales, aunque invisibles e intocables, se podía concebir uniéndose para formar sólidos tangibles. No cabe duda de que el desarrollo en esa misma época del microscopio compuesto de Robert Hooke y de otros contribuyó notablemente, pues fue un estímulo para la imaginación y la aceptación del mundo de lo infinitamente pequeño, igual que el telescopio desterró ciertas dificultades conceptuales relacionadas con la posibilidad de cambio en los cielos. Si Demócrito hubiera dispuesto de un microscopio, dijo Bacon, «probablemente habría dado saltos de alegría al pensar que se había descubierto una forma de distinguir el átomo».

Los corpúsculos de Boyle no eran ni los átomos de Epicuro y Gassendi, ni las partículas de Descartes y los cartesianos, sino que eran más útiles y a la vez más refinados que cualquiera de ellos. La filosofía mecanicista de Boyle se levantaba sobre los principios de la materia y el movimiento. Las propiedades de la materia en bruto se explicaban por el tamaño, forma y movimiento de los corpúsculos, y por la interacción entre los *minima naturalis* (nuestras moléculas), cuya evidencia encontramos en los fenómenos químicos. Al igual que Bacon y sus colegas miembros de la Royal Society, Boyle siempre manifestó su aversión y desconfianza hacia los «sistemas»:

> Siempre he pensado que no es precisamente el menor de los impedimentos de la filosofía natural el que los hombres hayan ido tan lejos elaborando sistemas, y que se hayan creído obligados o bien a guardar silencio o bien a escribir nada menos que todo un corpus de fisiología.

Aunque Boyle discrepaba de la física cartesiana, parece ser que opinaba que la visión cartesiana del mundo como un sistema integrado o un todo, era útil.

ría el nivel de análisis y explicación para el químico, y no los llamados «elementos» que se deducen de las reacciones químicas. Para Boyle, materiales como el oro, el hierro y el cobre no eran elementos, sino agregados de una materia común que se diferenciaba por el número, tamaño, forma y estructura de sus aglomerados. Aunque aceptó sin reparos que estas entidades tuvieran una existencia independiente como *minima*, no pudo prever la utilidad de definirlos pragmáticamente como elementos químicos. Para Boyle, el «elemento» ya se había definido de forma irreversible por los antiguos, y también por sus contemporáneos, como una sustancia omnipresente.

La filosofía física corpuscular del siglo XVII era muy adecuada. Podía explicar reacciones químicas pero no predecirlas, ni diferenciar entre sustancias simples y complejas, lo elemental y lo compuesto. Tampoco, a estas alturas de la historia, alineaba las supuestas partículas con la balanza y el peso. Por lo tanto, aunque los químicos posteriores no rechazaron abiertamente la teoría corpuscular y, a menudo, la aceptaron como una explicación del carácter *físico* de la materia, en la práctica de la química se ignoró esta teoría. Los químicos seguían necesitando un concepto de elemento y, a la ligera, regresaron a la teoría de los cuatro elementos o a otra de la misma índole. No obstante, algo había cambiado como resultado de la crítica de Boyle. Ya no se podía seguir argumentando seriamente que *todos* los posibles elementos, por muchos que pudiera postular un químico, se hallaban omnipresentes en un material concreto. El escepticismo de Boyle sugirió que algunas sustancias podían contener un número de elementos inferior a su total, lo que redundó en que los químicos posteriores adoptasen una actitud pragmática acerca de los elementos e incrementaran su número lenta y cautelosamente a lo largo del siglo XVIII.

Este punto de vista, más pragmático, se ve claramente reflejado en el *Cours de Chymie* de Nicolas Lemery (1675), traducido al inglés en 1686[3]:

> En química, la palabra *principio* no debe entenderse de manera demasiado precisa, pues las sustancias así denominadas son *principios* con respecto a nosotros y mientras no podamos avanzar más en la división de los cuerpos; pero es bien sabido que podríamos continuar dividiéndolos en muchas otras partes, que podrían reivindicar con más derecho y en el sentido estricto de la palabra el nombre de *principios*; así pues, tales deben entenderse como *principios químicos*, pues están separadas y divididas, en la medida en que podemos hacerlo con nuestros imperfectos medios.

Esta reflexión se aproxima mucho a la definición que Lavoisier da de elemento (véase Capítulo 3).

Pero sería un error dejar la impresión de que Boyle fue un químico físico moderno o, mejor dicho, un físico químico. En tanto que corpuscularista,

[3] A. G. Debus, *Annals of Science*, 23 (1967): 144.

Boyle no tenía dificultad alguna para aceptar la plausibilidad de la transmutación de los metales; de hecho, una teoría particularista consiguió que «las esperanzas de los alquimistas por convertir en oro otros materiales fuesen menos delirantes». Sabemos que Boyle se tomó muy en serio relatos de acontecimientos mágicos y transmutaciones con éxito. En 1689 Boyle contribuyó a que se aboliera la ley promulgada por Enrique IV contra la fabricación alquimista de oro y de plata que, se suponía, perjudicaba a las investigaciones metalúrgicas útiles. Durante toda su vida investigó las reivindicaciones de los alquimistas, si bien lo hizo en privado, con cautela e incluso en secreto ya que, tal y como revelan estudios recientes, Boyle identificaba claramente la transmutación con la intervención de fuerzas sobrenaturales.

El vacuum Boylianum *y sus repercusiones*

Otra contribución importante de Boyle a la filosofía natural la constituyeron sus investigaciones acerca del aire, posibles gracias a la invención de la máquina pneumática. Ésta fue desarrollada por primera vez en Alemania por Otto von Guericke, quien, en una demostración que llevó a cabo en Magdeburgo en la década de 1650, extrajo con gran esfuerzo y mediante una bomba el aire del interior de un globo de cobre, formándose el vacío. Von Guericke descubrió que la atmósfera ejercía una tremenda fuerza de compresión sobre el globo. Esto quedó demostrado en el famoso experimento de Magdeburgo, un tanto teatral, en el que se utilizaron dieciséis caballos para intentar separar dos hemisferios en los que se había efectuado el vacío. Los detalles de la bomba de von Guericke, que se publicaron 1657, no tardaron en despertar el interés de toda Europa, ya que si realmente se formaba el vacío, esto era una prueba *prima facie* de la falibilidad de la física de Aristóteles y a favor de la filosofía corpuscular.

Con el apoyo de Robert Hooke, joven y valioso ayudante de laboratorio, Boyle construyó su propia máquina pneumática en 1658 y con ella comenzó a investigar la naturaleza de la combustión y de la respiración. Cuarenta y tres de estos hallazgos se publicaron en el año 1660 bajo el título de *New Experiments Physico-Mecanical touching the Spring of the Air and its Effeects*. La mayoría de estos se realizaron cuidadosamente en presencia de amigos y colegas. La ley de Boyle, que relacionaba la presión (el resorte) con el volumen del aire, se desarrolló a partir de una investigación experimental provocada por la controversia que suscitó la publicación de la obra. Muchos años más tarde, los británicos seguían refiriéndose, cariñosamente, al vacío como *vacuum Boylianum*.

Los experimentos que realizó con pájaros, ratones y velas, le llevaron, poco a poco, a la conclusión de que el aire actuaba como un agente transportador

que sacaba las impurezas de los pulmones al exterior. A propósito, la observación de Boyle de que los insectos no morían en el vacío fue confirmada en el siglo XX por Willis Whitney, que trabajaba para la General Electric Company. Al igual que van Helmont, Boyle nunca concibió el aire como una entidad química sino, más bien, como un fluido elástico peculiar en el que flotaban distintas partículas reactivas responsables de los fenómenos de la respiración, la oxidación del hierro y la delicuescencia y el verdín del cobre. Por otra parte, Boyle percibió claramente que una parte del aire se consumía o era absorbido durante los procesos de la respiración y la combustión, pero fue muy prudente a la hora de identificarlo. Sus seguidores, Hooke incluido, fueron más intrépidos. Hooke, que trabajaba para la Royal Society como encargado de experimentos e instrumentos (*curator*), enseguida se independizó trazando su propia trayectoria.

Durante la Guerra Civil inglesa, Oxford fue un baluarte monárquico. El médico del rey Carlos I, William Harvey, que había demostrado la circulación de la sangre en 1628, era el director del Wadham College, donde fomentó el desarrollo de las investigaciones en fisiología. La llegada de Boyle a Oxford en la década de 1650 acrecentó aún más el interés por las cuestiones químicas entre esta comunidad de estudiantes y los exiliados realistas de Londres, incluyendo a Richard Lower, John Mayow, John Wallis, John Wilkins y Christopher Wren. En 1659 Boyle contrató a un inmigrante alsaciano, Peter Stahl, para que impartiera clases de química en Oxford. Las personas especialmente interesadas en resolver algunos de los enigmas que Harvey había dejado sin respuesta, como qué le ocurría a la sangre en los pulmones o cuál era el origen de su calor, asistieron a los cursos de Stahl con la esperanza de hallar soluciones en la química. En ese momento, entre los ayudantes de Boyle se encontraban Hooke y Mayow.

En su *Micrographia* (1665), tratado pionero en microscopía y en otros muchos temas, Hooke desarrolló una teoría de la combustión influenciada por la teoría de los dos elementos ácido-álcali de Silvio y, más aún, por la teoría meteorológica, muy extendida entre sus contemporáneos, basada en una analogía con la pólvora. Según esta teoría «nitro-aérea», los truenos y los rayos se relacionaban con la explosión y el fogonazo de la pólvora, cuyos ingredientes activos se sabía que eran el azufre y el nitro. De ahí que, por analogía, una tormenta violenta se explicara como la reacción entre las partículas de azufre y de nitro presentes en el aire. Como también se sabía que el nitro hacía descender la temperatura del agua y fertilizaba los cultivos, se podía argumentar que las partículas de nitro del aire eran probablemente las responsables de la nieve, del granizo y de la vitalidad de las verduras. Estas ideas pueden remontarse a Paracelso y a alquimistas como Michael Sendivogius.

Hooke expuso su versión de esta teoría en doce proposiciones. Supuso que el aire era un «disolvente universal» de los cuerpos sulfurosos porque contenía

una sustancia «parecida, si no idéntica, a la que está fijada en el salitre». Durante el proceso de la disolución, se producía una gran cantidad de calor y de fuego; al mismo tiempo, la materia sulfurosa disuelta «se convertía en aire, volaba hacia arriba y descendía hacia abajo con él».

John Mayow (1641-79), médico cartesiano nacido en Cornualles, desarrolló hasta sus últimas consecuencias la teoría nitro-aérea en sus *Five Medico-Physical Treatises*, tratados que se publicaron en 1674. Lo que no se sabe muy bien es qué parte de la obra corresponde a sus propias ideas y qué parte es simplemente un resumen de las de Boyle, Hooke y del médico de Oxford Richard Lower. No obstante, aunque se tratase de una obra sincrética, despertó gran interés y ejerció una gran influencia. Mayow utilizó la teoría nitro-aérea para explicar un abanico muy amplio de fenómenos, incluyendo la respiración, el calor y las llamas de la combustión, la calcinación, la delicuescencia, el calor animal, el color escarlata de la sangre arterial y, una vez más, fenómenos meteorológicos. Demostró que cuando ardía una vela dentro de una campana invertida de cristal sumergida en agua consumía la parte de nitro del aire, el cual, como consecuencia, perdía su elasticidad, haciendo que se elevara el nivel del agua. Lo mismo ocurría cuando se reemplazaba la vela por un ratón. En palabras de Mayow:

> Por lo tanto, es evidente que el aire queda privado de su fuerza elástica por la respiración de los animales, y que algo muy parecido sucede cuando arde una vela.

La calcinación suponía, además, la adición mecánica de partículas nitro-aéreas a un metal, el cual, como Mayow sabía por algunos de los descubrimientos de Boyle, experimentaba un incremento de peso, explicación difundida también por Jean Rey, oscuro contemporáneo francés de Mayow. Esta teoría pareció confirmarse por el hecho de que el antimonio producía la misma cal cuando se calentaba al aire libre que cuando se disolvía primero en ácido nítrico y se calentaba.

Los primeros historiadores de la química encontraban un gran parecido entre la explicación de Mayow y la teoría posterior de la calcinación por el oxígeno, pero el único punto en común es el de la transferencia de propiedades. Dejando a un lado los diferentes conceptos teóricos de ambas, no hemos de olvidar que la de Mayow era una teoría mecánica de la combustión, y no química. Una observación historiográfica más seria es la que pone de relieve que la teoría de Mayow esencialmente marcó una vuelta al mundo dualista de los principios y poderes ocultos. El azufre y el nitro reemplazaban ahora los *tria prima* de Paracelso.

> El espíritu nitro-aéreo y el azufre están envueltos en perpetuas hostilidades, y es de hecho de sus mutuas contiendas y de sus diversos estados cuando sucumben por turnos, de donde parece que provienen todos los cambios de las cosas.

Ni Boyle ni Hooke hicieron referencia a Mayow en sus obras. En cualquier caso, Boyle era escéptico en cuanto a la «cantidad y calidad de nitro en el aire».

> Pues no he encontrado que aquellos que basan sus teorías en ese nitro volátil hayan averiguado a través de algún experimento competente que el tal nitro volátil abunde en el aire. Pues tras haber manejado yo mismo, a menudo, salitre en el fuego, no me parece fácil que se produzca por un fuego moderado; y, cuando sometiéndolo a un calor más intenso, lo destilamos en retortas, está claro que lo que los químicos llaman el espíritu de nitro (óxido nítrico), posee propiedades muy diferentes del nitro crudo, y también de las que se adscriben al nitro volátil del aire; estos espíritus están tan lejos de ser vivificantes para la naturaleza de los animales que son sumamente corrosivos.

A pesar del carácter especulativo de la teoría nitro-aérea, es de admirar el ingenio experimental de Mayow. Aunque no desarrolló la máquina pneumática, ideó un método para aprehender el «gas silvestre», tan huidizo para van Helmont, sumergiendo trocitos de hierro en ácido nítrico dentro de una campana de cristal. No es de extrañar que los resultados le parecieran desconcertantes a Mayow pues, aunque después subía el nivel del agua del recipiente, tal y como predecía la teoría nitro-aérea, en un primer momento descendía. (El primer producto resultante de esta reacción de desplazamiento habría sido el hidrógeno, insoluble; las reacciones secundarias habrían producido después dióxido de nitrógeno soluble.)

La química de Newton

Newton se interesó durante toda su vida por la química. Según cuentan, esta inclinación surgió cuando, siendo alumno de la Grantham Grammar School, se alojó en casa de un boticario. Publicó un único artículo que tratara específicamente de química, pero encontramos importantes e influyentes ideas químicas en los *Principia Mathematica* (1687) y en la *Óptica* (1704). Como mencionábamos en el Capítulo 1, también se han conservado miles de páginas manuscritas con anotaciones de química y alquimia, muchas de las cuales se han identificado como transcripciones de obras contemporáneas, tanto impresas como manuscritas. Parece ser que Newton se interesó tanto por la alquimia exotérica como por la esotérica, es decir, que sus intereses iban más allá de la información empírica y experimental que pudiera extraer de los textos alquímicos hasta llegar a los «misterios» y secretos que estos difundían en forma de metáforas y alegorías.

Newton estuvo influenciado, fundamentalmente, por van Helmont y Boyle; también encontró atractiva la teoría nitro-aérea como reminiscencia del *blas* de van Helmont.

> Es más, sospecho que es principalmente de los cometas de donde proviene el espíritu, que naturalmente es la parte más pequeña y, al mismo tiempo, la más sutil y útil del aire, y tan necesaria para mantener la vida de todo lo que nos rodea.

En los *Principia* Newton apunta a que el origen de toda materia se encuentra en el agua:

> Los vapores que se elevan del sol, las estrellas fijas y las colas de los cometas, se encuentran al fin y caen a las atmósferas de los planetas por efecto de su gravedad, y allí se condensan y se convierten en agua y en espíritus húmedos; y de ahí, por la acción del calor moderado, pasan gradualmente a tomar forma de sales, y azufres, y tintes, y barro, y arcilla, y arena, y piedras, y coral y otras sustancias terrestres.

Según Newton, la Naturaleza era una trabajadora incansable; todas las cosas, tal y como escribió en la *Óptica*, nacían del agua y, tras pasar por un estado de putrefacción, volvían a convertirse en agua.

No obstante, Newton se adscribió incondicionalmente a la filosofía corpuscular de Boyle, a la que añadió los mecanismos de atracción y repulsión para explicar no solamente los fenómenos gravitacionales de la materia planetaria bruta, sino también las simpatías (afinidades) y antipatías (repulsiones) químicas que las sustancias individuales ejercían entre sí. Estas facultades inherentes a la materia, que Newton atribuyó a un éter sutil que bañaba el universo, reemplazaron las influencias astrales de Paracelso y el *blas* de van Helmont como causas del movimiento y del cambio. Newton dedicó a este tema su único artículo de química publicado, «De natura acidorium», escrito en 1692 pero que no se publicó hasta 1710, y las Cuestiones 31 y 32 de su *Óptica* (en la edición de 1717). En estos escritos Newton sugería que entre las partículas de los cuerpos existían fuerzas de enorme intensidad que, sin embargo, tan sólo alcanzaban cortas distancias y cuya potencia variaba de una especie química a otra. Esta hipótesis de las fuerzas de corto alcance le llevó a especular acerca de lo que los químicos del siglo XVIII llamaron «afinidades electivas», y la razón por la cual los metales se reemplazaban mutuamente en las disoluciones ácidas, aportando el propio Newton el orden de sustitución de seis metales comunes disueltos en ácido nítrico.

La afinidad química se convirtió en uno de los problemas más candentes de la química. En 1718 Étienne Geoffroy (1672-1731) presentó la primera tabla de afinidades; Torbern Bergman (1735-84) y otros autores elaboraron otras tablas más completas a partir de mediados del siglo XVIII. A medida que el prestigio de la imagen newtoniana del mundo fue creciendo, los químicos y los filósofos naturales también comenzaron a interpretar estas tablas en términos de atracciones de corto alcance. En 1785 Buffon incluso identificó estas leyes de afinidad con la atracción gravitacional; pero todos los intentos que se realiza-